

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В АТМОСФЕРЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ

Принцип действия систем бесконтактного измерения параметров атмосферы (сонаров, лидаров, метеорологических радаров, систем радиоакустического зондирования) заключается в том, что в атмосферу излучается зондирующий сигнал (акустическая либо электромагнитная волна), параметры принятого рассеянного сигнала определяют метеоусловия. Тем не менее, перечисленные системы не достаточно удовлетворяют потребность в средствах измерения метеопараметров на малых высотах.

Во всех этих системах заложено техническое противоречие. Параметры акустической волны в значительной степени зависят от температуры атмосферы, влажности, скорости ветра. Но при этом затруднен анализ профилей параметров, т.к. полезная информационная составляющая приобретает акустическим сигналом непосредственно в области рассеяния, и при распространении по трассе к приемнику может искажаться так же за счет атмосферных условий (сонары). С другой стороны, электромагнитное излучение практически не затухает и мало рассеивается в атмосфере (имеется в виду диапазон радиоволн и видимое оптическое излучение), и потому хорошо переносит информацию. Но в таком случае плохо приобретает полезная составляющая, уровень рассеянного сигнала мал, необходима когерентная обработка на частоте сигнала (лидары, метеорологические радары).

Частично это противоречие решено в системах РАЗ атмосферы, где радиоволны рассеиваются на акустических волнах в атмосфере и переносят полезный сигнал. Тем не менее, необходим когерентный прием сигнала. По некоторым причинам оптическое зондирование предпочтительнее в том числе, т.к. оптические антенны имеют меньшие габариты, больший коэффициент направленного действия. Но сохраняется сложность когерентного приема, более того, условие Брэгга, выполнение которого необходимо для резонансного рассеяния электромагнитных волн на акустических, в оптическом диапазоне выполняется только на гиперзвуковых частотах.

Предлагаемое решение противоречия – применение эффекта оптико-акустического взаимодействия. Под действием механических деформаций, переносимых звуковой волной, возникает пространственная модуляция оптических свойств среды, обусловленная упруго-оптическим, или фотоупругим эффектом. В общих чертах можно описать данную систему как излучение акустической волны и прием оптического излучения, когерентный по отношению к модулирующей частоте акустической посылки. В простейшем случае пассивного оптико-акустического зондирования (ОАЗ) система состоит из акустического излучателя и фотоприемника. К оптической подсветке не предъявляются требо-

вания когерентности или узкой полосы. В ее качестве может использоваться естественное освещение (например, солнечное). Для искусственной подсветки целесообразнее выбирать коротковолновый оптический источник с малой расходимостью луча.

Следует отметить, что все системы метеорологического зондирования содержат совместно дальномерный канал для построения профилей параметров и информационный канал для извлечения собственно самих параметров. Дальность в нашей оптической системе определяется геометрией расположения фотоприемника и излучателя. Информация извлекается из модуляции оптического излучения акустической волной, которая происходила непосредственно в области рассеяния.

По результатам теоретических исследований построена модель, связывающая энергетические характеристики излучений и сигнал в фотоприемнике. Мощность сигнала в приемнике определяется следующим образом;

$$P_{\text{пр}} = \frac{P_0 \cdot S_{\text{пр}}}{R^2} \cdot \sigma_s(\lambda, t) \cdot f(\Theta) \cdot L$$

где P_0 – мощность оптической подсветки,

$S_{\text{пр}}$ – площадь апертуры приемника,

R – расстояние от области рассеяния до фотоприемника,

$f(\Theta)$ – индикатриса рассеяния,

σ_s – коэффициент рассеяния, зависящий от длины волны λ оптического излучения, наличия аэрозоля и времени, т.к. при распространении акустической волны меняется коэффициент преломления,

L – толщина рассеивающего слоя, попадающая в поле зрения фотоприемника.

Необходимо учитывать также тот факт, что в поле зрения фотоприемника может попадать несколько длин волн акустического излучения. В данном случае амплитуда полезной составляющей зависит от соотношения толщины рассеивающего слоя и длины волны акустического излучения.

Наличие аэрозоля (частиц пыли, тумана) в атмосфере увеличивает мощность рассеиваемого сигнала. В случае только рэлеевского рассеяния, т.е. в чистом воздухе, проведенный расчет показывает, что относительная величина полезной составляющей мощности в фотоприемнике имеет порядок 10^{-9} - 10^{-10} , что является приемлемым.

Разработаны алгоритмы измерения метеорологических параметров (температуры атмосферы, скорости и направления ветра) в системе ОАЗ. Для этого используются известные в области зондирования атмосферы соотношения. В первом случае определение параметра основано на измерении скорости акустической волны, во втором случае на измерении доплеровского сдвига частоты акустической волны по трем независимым направлениям.

В настоящий момент исследование находится на стадии экспериментальной проверки.